

## ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.311.231:550.8

**Отличительные черты гипергенного изменения пород различного состава****Н.Н. Зинчук**

Западно-Якутский научный центр Академии наук Республики Саха (Якутия), 678170, Мирный, ул. Ленина, 4/1

E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

*(Статья поступила в редакцию 14 ноября 2013 г.)*

Сравнительный комплексный анализ различных типов кор выветривания показывает, что наряду с минералогическими особенностями исходных пород и гидрогеохимическими условиями среды важное значение в формировании элювиальных продуктов имеют три следующих фактора. Первый – это степень структурной упорядоченности первичных минералов. Второй – унаследованность этих свойств вновь возникающими фазами. Третий – универсальность процесса преобразования гипогенных и образования гипергенных минералов в профилях выветривания, развитых на различных типах пород. Эти положения можно доказать только комплексным оптико-электронно-микроскопическим и структурно-кристаллохимическим их изучением. Указанная методология позволяет дифференцировать на структурном уровне одни и те же видовые разновидности первичных минералов, а также идентифицировать вторичные слоистые силикаты, образующиеся на разных стадиях гипергенного изменения пород.

Ключевые слова: *коры выветривания, элювиальные продукты, гипогенные и гипергенные образования, оптико-электронно-микроскопические и структурно-кристаллохимические исследования.*

Выветривание представляет собой глобальный процесс физико-химического преобразования горных пород как в субаквальных, так и в основном субаэральных условиях [2, 10, 13–17]. Процесс выветривания затрагивает практически все слагающие верхнюю оболочку Земли породы, т.е. изверженные, метаморфические и осадочные, включая карбонатные и хемогенные разности последних. Наиболее четкие закономерности указанного процесса наблюдаются в профилях выветривания алюмосиликатных пород (особенно изверженных), отдельные разности кото-

рых характеризуются выраженной контрастностью как по химическому составу, так и по минералогическим особенностям. Однако для выяснения некоторых частных вопросов минералогии кор выветривания при сравнительном анализе различных типов элювиальных продуктов весьма важные данные могут быть получены при изучении кор и на осадочных породах. Механизм гипергенного преобразования различных гипогенных минералов определяется их структурными особенностями. Так, минералы островной (оливин), цепочечной (пироксены), ленточной (ам-

фиболы) и каркасной (полевые шпаты) структур в процессе выветривания подвергаются последовательному растворению. В отличие от этого слоистые силикаты (к группе гипогенных разновидностей которых относятся главным образом слюды и в меньшей степени хлориты и серпентиновые минералы) в зоне гипергенеза испытывают гамму различных твердофазных трансформаций. В результате этого из продуктов преобразования первичных минералов в каждой зоне возникают новые вторичные минералы.

Практически *бесслюдистые кислые породы*, как, например, *лейкократовые граниты* о.Ольхон на Байкале [4], содержат до 54% микроклина, 22% олигоклаза, 16% кварца и 4% слюды (мусковита и биотита). В нижней зоне профиля выветривания такие породы благодаря начальной стадии разложения плагиоклаза и наименее устойчивой части калиевого полевого шпата характеризуются появлением лишь небольшого количества (~4%) слабо упорядоченного преимущественно Al-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонита ( $b = 0,894$  нм) и галлуазита ( $b = 0,894$  нм). Несмотря на одинаковые значения указанного параметра, последний, в отличие от очень мелких псевдоизометричных частиц монтмориллонита, четко диагностируется под электронным микроскопом по трубчатой форме кристаллов. Одновременно с этим вследствие более слабой устойчивости триоктаэдрических слюд по сравнению с их диоктаэдрическими аналогами [9, 11, 18] подвергается быстрой деградации биотит. Это сопровождается частичной диоктаэдризацией исходного материала с возникновением небольшого количества монтмориллонит-гидрослюдистого смешанослойного образования с тенденцией к упорядоченному чередованию преобладающих неразбухающих пакетов с подчиненными разбухающими. В средней зоне профиля выветривания в результате интенсивного разложения указанных выше исходных минералов резко увеличивается содержание монтмориллонита и особенно галлуазита. В то же время вслед-

ствие неустойчивости монтмориллонита по мере последовательного снижения щелочности среды из продуктов его разложения формируется каолинит ( $b = 0,890$  нм) в виде относительно крупных пачек как по оси  $c$ , так и в плоскости  $ab$ . Верхняя зона благодаря резко выраженной кислой среде характеризуется преобладанием процесса преобразования главной массы микроклина в каолинит с более высокой, чем в средней зоне, степенью совершенства структуры, но с меньшим в целом размером его доменных микроблоков. В свою очередь доля галлуазита снижается, а монтмориллонит в связи с интенсивным дренажем и быстрым выносом из этой зоны неустойчивых химических элементов не возникает вообще [4, 18].

Изученные нами [19] *бесслюдистые основные породы* (в частности, *амфибол-плагиоклазовые гнейсы архея*), развитые в указанном регионе, представлены на 60% плагиоклазом типа андезин-лабрадора и на 40% амфиболом. В нижней зоне профиля выветривания этих пород из гипергенных минералов содержится только небольшая примесь монтмориллонита. Однако по сравнению с кислыми породами последний относится преимущественно к триоктаэдрической Mg-Fe<sup>2+</sup>-разновидности ( $b = 0,918$  нм). Средняя зона в результате смены восстановительной обстановки на окислительную характеризуется гаммой промежуточных разновидностей монтмориллонита от три- до собственно диоктаэдрической ( $b = 0,900$  нм). За счет продуктов деструкции последней, как и в соответствующей зоне профиля выветривания кислых пород, развивается каолинит ( $b = 0,892$  нм). В отличие от аналогичной зоны выветривания кислых бесслюдистых образований, в элювии основных пород этот минерал имеет более высокую степень совершенства структуры, о чем свидетельствует его четко идентифицируемая политипная модификация 1Тк. Кроме того, каолинит в профиле выветривания этих пород характеризуется повышенной дисперсностью. Благодаря большей устойчивости минералов цепочечной

и ленточной структур по сравнению с каркасной образование монтмориллонита в условиях сохранения слабощелочной среды продолжается, в отличие от кислых пород, и в верхней зоне. При этом последовательно усиливается процесс возникновения промежуточных фаз с элементами ди-триоктаэдрического заселения октаэдрических позиций в их структуре, т.е. с образованием ди-триоктаэдрического Mg-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонита ( $b = 0,908$  нм). Возрастает содержание каолинита, в котором одновременно повышается степень совершенства структуры. Формирование отдельных зон в разрезах кор выветривания бесслюдистых изверженных пород как кислого, так и основного состава имеет в целом общие черты. В профиле выветривания обоих типов пород средняя зона характеризуется в основном развитием в виде промежуточной фазы монтмориллонита, а верхняя – весьма устойчивого в зоне гипергенеза каолинита. Отличия заключаются главным образом в кристаллохимической природе монтмориллонита, возникающего в рассматриваемых породах не только по плагиоклазам различной основности, но и по роговой обманке. Это определяет меньшую скорость преобразования синтезирующегося в элювии основных пород близкого к триоктаэдрической разновидности разбухающего минерала в каолинит. Последний в профиле выветривания указанных пород характеризуется более высокой степенью совершенства структуры, хотя и меньшим размером частиц. Кроме того, благодаря присутствию в кислых породах альбита образуется также галлуазит.

В отличие от рассмотренных выше бесслюдистых пород, **слюдистые образования** (как, например, *терригенно-карбонатные отложения* нижнего палеозоя Западной Якутии) содержат в нижней зоне профиля выветривания диоктаэдрическую гидрослюду ( $b = 0,900$  нм) в виде смеси политипных модификаций  $1M$  и  $2M_1$  ( $1M > 2M_1$ ), триоктаэдрический хлорит ( $b = 0,922$  нм) и серпентин ( $b = 0,935$  нм). Эти отложения характеризуются развити-

ем на них доверхнепалеозойской и до-нижнеюрской кор выветривания. Наибольшее преобразование исходные породы претерпели в коре выветривания средне-позднетриасового возраста. В средней зоне коры выветривания рассматриваемых пород хлорит и серпентин полностью исчезают. Подвергается существенной дегградации также гидрослюда  $1M$  (как менее устойчивая по сравнению с  $2M_1$ ), причем трансформационные процессы в структуре гидрослюды  $1M$  обуславливают значительное увеличение количества разбухающих слоев, в то время как гидрослюда  $2M_1$  остается относительно стабильной [5–8, 12]. В результате этого возникает монтмориллонит-гидрослюдистое смешанослойное образование вначале с содержанием менее 40% разбухающих пакетов, но в верхней зоне количество последних увеличивается и становится больше 40%. Вследствие весьма низкого совершенства структуры эта фаза в кислой среде, свойственной верхней зоне коры выветривания, быстро подвергается деструкции, и из образующихся продуктов возникает полубеспорядочный в структурном отношении каолинит. В результате указанных трансформаций содержание гидрослюды  $1M$  к верхам профиля резко снижается, поэтому здесь наблюдается преобладание политипа  $2M$  ( $2M_1 > 1M$ ). В свою очередь слюдистые породы основного типа, в частности *амфибол-флогопит-плагиоклазовые гнейсы* архея Приольхонья, содержат около 50% основного палагиоклаза, 30% флогопита, 20% амфибола [4, 7, 19]. В нижней зоне коры выветривания они характеризуются наличием, кроме того, примеси триоктаэдрического хлорита ( $b = 0,920$  нм), а также три- (или Mg-Fe<sup>2+</sup>-) и диоктаэдрической (или Al-Fe<sup>3+</sup>-) разновидностей монтмориллонита ( $b$  соответственно 0,920 и 0,891 нм), связанных в последнем случае с начальной стадией трансформации флогопита в свойственной этой зоне восстановительной обстановке и в небольшом объеме с деструкцией плагиоклаза. В слабовыветрелых частях общей верхней

зоны в связи с развитием вверх по профилю выветривания все более окислительной обстановки флогопит трансформируется в вермикулит ( $b = 0,916$  нм). Плагиоклаз и амфибол в этих условиях подвергаются интенсивному растворению, причем из продуктов разложения первого (как и в нижней зоне) возникает ди- ( $b = 0,996$  нм), а второго – дитриоктаэдрический или Mg-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонит ( $b = 0,906$  нм). Благодаря высокой основности при деструкции плагиоклаза в виде побочной фазы синтезируется CaCO<sub>3</sub> в виде кальцита. Одновременно в результате деструкции диоктаэдрического монтмориллонита и полностью диоктаэдризированной части триоктаэдрической разновидности этого минерала возникает каолинит, характеризующийся относительно упорядоченной структурой и весьма высокой дисперсностью частиц. Кроме этого, благодаря частичной дегградации вермикулита образуется ассоциирующий с ним ди-триоктаэдрический монтмориллонит, что доказывается, как показано нами ранее при изучении коры выветривания на долеритах Якутии [6, 19], разложением обеих этих фаз при кипячении их в течение 1,5 ч в 10%-ном растворе HCl, но сохранением после обработки образца 10% раствором CH<sub>3</sub>COOH. В более выветрелых частях верхней зоны по мере развития кислой среды и прогрессирующего выноса Mg из межслоевых промежутков вермикулита при сохранении в его микроблоках лишь менее 10% слоев первичного минерала и диоктаэдризации указанной выше разновидности монтмориллонита в результате их гомогенизации возникает неупорядоченное вермикулит-монтморилло-нитовое смешанослойное образование. Благодаря не только структурной, но и кристаллохимической неоднородности эта фаза разлагается при обработке образцов теплым 10%-ным раствором как HCl, так и CH<sub>3</sub>COOH. Кроме того, рассматриваемая дитриоктаэдрическая фаза после прокаливания образцов в течение 1,5 ч при 600°C вместо четкого рефлекса, свойственного

дегитратированному состоянию ди- или триоктаэдрической разновидности монтмориллонита, образует широкую дифракционную полосу. Дальнейшая полная диоктаэдризация указанной выше фазы обеспечивает в соответствии с рассмотренным ранее [7, 8] механизмом, дополнительный синтез каолинита, что приводит к общему увеличению содержания этого минерала в рассматриваемой части разреза.

Изученные нами [1, 7, 8] разности таких *ультраосновных пород*, как, например, *кимберлиты* Сибирской платформы, представлены агрегатами серпентина из слоев типа *A* и *B* ( $b = 0,929$  нм) и кальцита с рассеянными выделениями магнетита, а также разнообразными псевдоморфозами по оливину и переменным количеством вкрапленников флогопита [5, 20]. В нижней зоне коры выветривания таких пород содержится, кроме того, примесь хлорита ( $b = 0,920$  нм), сепиолита, дитриоктаэдрического Mg-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонита ( $b = 0,905$  нм) и гидрослюды ( $b = 0,900$  нм) *1M*, ассоциирующей с монтмориллонит-гидрослюдистыми смешанослойными образованиями, относящимися в последних двух случаях к продуктам частичной диоктаэдризации флогопита. В средней зоне отмечается последовательное увеличение количества гидрослюды, а серпентин представлен только слоями *A*. Одновременно с этим резко увеличивается содержание как Mg-Fe-хлорита, так и близкого к собственно Mg-разновидности Mg-Fe<sup>3+</sup>-монтмориллонита, причем неразбухающий минерал, судя по свойственным ему сравнительно узким рефлексам на рентгенодиффрактограммах, характеризуется относительным совершенством структуры. Смешанослойная фаза в этих двух частях разреза характеризуется тенденцией к упорядоченному чередованию преобладающих неразбухающих пакетов с подчиненными разбухающими. В верхних частях профиля выветривания в связи с развитием в них окислительной обстановки хлорит не образуется, а вместо флогопита возникают вермикулит и рассмотренные

выше продукты его дальнейшей трансформации. Одновременно с этим в результате продолжающегося процесса диоктаэдризации монтмориллонита происходит некоторое ухудшение степени совершенства его структуры, что проявляется на рентгенодифрактограммах увеличением полной ширины на половину высоты (ПШПВ) его рефлексов [8, 9, 12]. Сопровождающая эти преобразования в низах верхней зоны частичная деструкция монтмориллонита обуславливает относительное увеличение содержания в ней гидрослюды. В свою очередь в структуре смешанослойной фазы содержание неразбухающих пакетов уменьшается, в результате чего последние в этом случае неупорядоченно чередуются с преобладающими разбухающими. В самых верхах разреза из продуктов деструкции наиболее разупорядоченной части диоктаэдрического монтмориллонита и смешанослойной фазы синтезируется небольшая примесь каолинита. Отсюда следует, что профили выветривания слюдистых пород от кислого до ультраосновного состава также характеризуются сходным строением. Особенностью изменения пород уже в нижней зоне является возникновение за счет первичных гипогенных минералов (главным образом триоктаэдрических слюд) гипергенного хлорита [1, 3]. В средней зоне наибольшее развитие имеют разбухающие минералы. Однако по сравнению с бесслюдистыми породами они представлены наряду с монтмориллонитом смешанослойной фазой. При этом оба указанных минерала в основных и ультраосновных породах относятся не только к собственно диоктаэдрическому типу, но и к близкому к триоктаэдрическому с прогрессирующей диоктаэдризацией последнего вверх по разрезам профилей выветривания. Это является необходимым условием для возникновения в дальнейшем из продуктов деструкции разбухающих минералов наиболее устойчивого в гипергенных условиях слоистого минерала – каолинита [6, 11]. Для продуктов выветривания слюдистых разностей основ-

ных пород, как и их бесслюдистых аналогов, характерно к тому же, в отличие от кислых пород, более высокое содержание разбухающих минералов. Благодаря этому (а самое главное вследствие существенной триоктаэдричности значительной части этих минералов) в профилях выветривания основных пород в результате более быстрого разложения наименее совершенной в структурном отношении слюдистой фазы политипной модификации 1M и соответственно производной от нее монтмориллонит-гидрослюдистой смешанослойной фазы элювий обогащается устойчивым политипом 2M<sub>1</sub>.

Приведенные данные показывают, что формирование отдельных зон в профиле выветривания различных типов бесслюдистых и слюдистых пород (от кислых до ультраосновных включительно) определяется не только их минералогией и гидрохимией среды на разных уровнях выветривания, но и структурными особенностями порообразующих минералов и механизмом их преобразования в зоне гипергенеза. Как было отмечено нами выше, главным процессом изменения бесслюдистых пород является растворение исходных минералов и, в зависимости от скорости выноса подвижных элементов [3, 6] из системы минералообразования и соответствующих изменений кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных параметров, последовательно развивающийся синтез определенных минералов или их ассоциаций. Указанный механизм преобразования исходных пород и возникновения в различных зонах профиля выветривания пород минеральных фаз подчеркивается характером взаимоотношения между первичными и вторичными минералами. Так, согласно оптическим и электронно-микроскопическим исследованиям (в последнем случае в основном по данным растровой электронной микроскопии) при выветривании пород вследствие полного или частичного растворения наименее устойчивых гипогенных минералов в объеме образующихся вначале отдельностей поро-

ды возникают полосы и каналы. При этом, согласно нашим наблюдениям [6–8], на раннем этапе гипергенного процесса минералы претерпевают максимальное изменение со стороны сколов, не совпадающих с плоскостями наиболее совершенной спаянности, т.е. в местах оборванных кристаллических связей. В то же время на гранях, соответствующих главнейшим плоскостям спаянности, этот процесс протекает более медленно, особенно у относительно устойчивых к выветриванию минералов. В этом случае на указанных гранях в местах развития кристаллических дефектов в структуре (в частности выхода на поверхность дислокаций) развиваются зародышевые формы вторичных минералов, а также различной конфигурации фигуры травления [7, 12]. На более поздних этапах выветривания вновь образующиеся минералы возникают как в пустотах, включая первичные поры, трещины самой разнообразной природы и участки выщелачивания неустойчивых минералов, так и на поверхности относительно устойчивых первичных минералов, в том числе на гранях и сколах наиболее стабильного в зоне гипергенеза минерала – кварца. Необходимо отметить, что форма и размеры вторичных фаз не зависят от морфологии исходных минералов. На сопряженность процессов растворения гипогенных и кристаллизации гипергенных минералов указывает также образование тонких минеральных смесей в пределах практически любого исходного минерального индивида. Это свидетельствует о том, что формирование вторичных, главным образом глинистых минералов в отдельных зонах профиля выветривания происходит либо путем растворения исходных минералов с последующим синтезом из продуктов их деструкции новообразованных минералов в отдельных частях объема или полном объеме разрушенных зерен, либо в результате кристаллизации минералов из интерстиционных растворов в ранее существовавших порах пород или в возникающих в процессе их геологической истории трещинах.

В профилях выветривания бесплодных кислых пород, содержащих из слабоустойчивых минералов преимущественно кислые плагиоклазы, а из относительно более устойчивых – калиевые полевые шпаты, на ранних этапах элювиального процесса в условиях, промежуточных между щелочными, щелочно-земельными элементами и частично Si, синтезируется главным образом диоктаэдрический монтмориллонит непостоянного в отдельных участках элювия химического состава [4, 8]. Согласно имеющимся данным [7, 19], кислые и средние плагиоклазы представляют собой тонкие структуры распада твердых растворов с переслаиванием доменов, попеременно обогащенных Na и Ca, т.е. характеризуются гетерогенностью кристаллического строения. В то же время основные плагиоклазы с преимущественным заселением структурных позиций в пустотах трехмерного тетраэдрического каркаса катионами Ca, как правило, являются гомогенными образованиями. Эти особенности плагиоклазов непосредственно наследуются структурой возникающих за счет их деструкции разновидностей монтмориллонита, т.е. последний в продуктах изменения основных пород имеет более высокую степень совершенства структуры. Соответственно образующийся по роговой обманке монтмориллонит также характеризуется относительно упорядоченной структурой, что частично сохраняется и в продуктах его последовательной диоктаэдризации. Указанные элементы различия в совершенстве структуры минерала-предшественника отражаются и на возникающих за их счет разновидностях каолинита. В частности, по гетерогенным плагиоклазам, свойственным кислым породам, содержащим значительное количество как Na, так и Ca, образуется весьма разупорядоченный каолинит [6, 7]. Общая тенденция возникновения слабоупорядоченных первичных слюнистых структур в результате раскристаллизации продуктов растворения кислых плагиоклазов, особенно их Na-Ca-разновидностей, близких

к олигоклазу, т.е. минералу, характеризующемуся практически равным количеством щелочных и щелочно-земельных катионов, подчеркивается, кроме того, образованием алюмосиликата из двухэтажных слоев с наиболее низким совершенством структуры – галлуазита. На поздних стадиях элювиального процесса в резко выраженной кислой среде микроклин по известной схеме [7, 11] так же, как и монтмориллонит, преобразуется в каолинит. Однако в отличие от указанной выше генерации последняя характеризуется более высокой степенью упорядоченности структуры. Отсюда следует, что существует закономерная унаследованность вновь возникающими силикатами, особенно слоистого типа, структурных свойств первичных минералов. Об универсальности этого процесса свидетельствует развитие указанных минералов в корках выветривания на однотипных породах, имеющих различный возраст и развитых в весьма существенно отличающихся по геологическому строению регионах.

В корках выветривания бесслюдистых основных пород, которые содержат главным образом основные плагиоклазы, пироксены и амфиболы, на ранних этапах гипергенного процесса вследствие растворения вначале наименее устойчивых из указанных минералов – основных плагиоклазов – образуется ассоциация из относительно более упорядоченного, чем в кислых породах, диоктаэдрического монтмориллонита и  $\text{CaCO}_3$ . Универсальный характер развития этой ассоциации подчеркивается ее присутствием в нижних зонах элювия, сформировавшегося также на долеритах Сибирской платформы [7, 8]. Одновременно с этим за счет продуктов разложения несколько более устойчивых в процессе гипергенного преобразования пород пироксенов и амфиболов возникает близкий к триоктаэдрической разновидности монтмориллонит. В отличие от диоктаэдрического эта разновидность монтмориллонита, как и большинство слоистых силикатов триоктаэдрического типа (особенно гипогенных),

характеризуется изначально более совершенной структурой. В результате прогрессирующего выноса в процессе выветривания из структуры этого монтмориллонита  $\text{Mg}$  и полного окисления  $\text{Fe}^{2+}$  происходит последовательная диоктаэдризация его структуры и гомогенизация с диоктаэдрическим аналогом рассматриваемого минерала, связанным с деструкцией основного плагиоклаза. Учитывая общую направленность кристаллохимических преобразований минералов в зоне гипергенеза, указанный процесс имеет в этом случае необратимый характер [8, 11]. Благодаря присутствию в монтмориллонитовой массе относительно упорядоченных разновидностей этого минерала возникающий за счет продуктов его деструкции каолинит характеризуется довольно высоким структурным совершенством. Об этом свидетельствует, в частности, четко диагностируемая в данном случае начиная со средней зоны, т.е. уровня появления каолинита в разрезе, политипная модификация его  $1T_k$ , не фиксируемая не только в указанной, но и в верхней зоне профилей выветривания кислых пород [11, 13]. При этом свойственная продуктам выветривания основных пород более высокая дисперсность каолинита обусловлена блокирующим влиянием повышенного содержания в них железистых соединений, особенно их закисных форм. На поздних стадиях выветривания, несмотря на интенсивный вынос подвижных элементов, необходимость вначале диоктаэдризации первично возникающего триоктаэдрического монтмориллонита определяет его более длительное сохранение в профиле выветривания. В свою очередь каолинит к верхам разреза закономерно характеризуется повышением степени совершенства структуры.

В отличие от этого в слюдистых разновидностях пород как кислого, так и основного состава, наряду с растворением рассмотренных выше минералов важное значение приобретают процессы преобразования различных разновидностей слюд. Благодаря слоистой структуре минералы слю-

дистого типа в процессе выветривания подвергаются деградационной трансформации, причем в зависимости от ди- или триоктаэдричности этих минералов и свойственных им политипных модификаций указанные изменения обладают определенными особенностями. Одной из них является присутствие преимущественно в нижних и средних частях профилей выветривания кроме возникающего в ряде случаев (при соответствующем типе исходных пород) собственно монтмориллонита и гаммы различных смешанослойных образований. В профилях выветривания кислых пород, содержащих смесь диоктаэдрических слюдястых минералов политипных модификаций 1М и 2М<sub>1</sub>, особенно в случае преобладания в исходных породах устойчивого политипа 1М, наиболее важное значение для образования элювиальных продуктов приобретает различная стабильность отдельных модификаций этих минералов. Так, уже на ранних этапах выветривания вследствие неоднородного замещения Si на Al в тетраэдрах кристаллической решетки слюды из части наименее заряженных межслоевых промежутков структуры 1М происходит интенсивный вынос K, что обуславливает развитие смешанослойной фазы. Вначале эта фаза характеризуется преобладанием в структуре неразбухающих пакетов, которые с тенденцией к упорядоченности переслаиваются с подчиненными разбухающими [8, 11]. По мере снижения вверх по разрезу pH среды и соответственно уменьшения степени замещения в тетраэдрах Si на Al и, как следствие этого, отрицательного заряда слоев вынос K из межслоевых промежутков слюдястого минерала модификации 1М увеличивается. В результате в структуре смешанослойной фазы возрастает количество лабильных пакетов, с которыми неупорядоченно чередуются подчиненные неразбухающие. Это сопровождается, кроме того, резким нарушением порядка наложения отдельных слоев в указанной структуре и, за счет ее дальнейшей деструкции, развитием на основе структурной унаследован-

ности также неупорядоченного каолинита. В результате рассмотренного выше процесса и соответственно большей устойчивости политипа 2М<sub>1</sub> в элювии, формирующемся на поздних стадиях выветривания, наблюдается инверсия соотношения политипных модификаций слюдястых минералов.

В корках выветривания слюдястых пород основного типа, которые содержат наряду с основными плагиоклазами, пироксенами и амфиболами тетраэдрические слюды (главным образом биотит и флогопит, т.е. минералы, характеризующиеся преимущественно политипной модификацией 1М), на ранних этапах элювиального процесса происходит развитие не только различных смешанослойных фаз, но и в зависимости от pH и Eh среды ряда промежуточных индивидуальных минералов триоктаэдрического типа. При этом на наиболее ранних стадиях преобразования исходных пород в щелочной среде и в резко восстановительной обстановке флогопит частично трансформируется [5–7] в хлорит, а на более поздних этапах в близкой к указанной выше среде, но в окислительной обстановке – в вермикулит. Хлорит в этом случае, как и в профиле выветривания рассмотренных выше слюдястых пород кислого типа, быстро разлагается. В отличие от этого в результате деградационной трансформации вермикулита вначале возникает парагенетическая ассоциация из вермикулита и ди-триоктаэдрического монтмориллонита. Эта ассоциация устойчиво сохраняется в профиле выветривания до тех пор, пока в микроблоках исходного минерала содержится более 10% вермикулитовых пакетов. На поздних стадиях выветривания по мере повышения кислотности среды и развития все более окислительной обстановки в микроблоках вермикулита последовательно увеличивается количество монтмориллонитовых пакетов. Когда количество вермикулитовых пакетов в указанных микроблоках становится менее 10%, происходит их гомогенизация с преобладающей массой подвергающегося од-

новременно с этим существенной диоктаэдризации близкого к триоктаэдрическому монтмориллонита. Соответственно на накапливающихся в ходе этого процесса слабоподвижных химических элементах (Si и особенно Al) синтезируется относительно дисперсный каолинит, наследующий от исходного минерала довольно высокую степень совершенства структуры. В профилях выветривания ультраосновных пород, в частности в кимберлитах, однотипные минералы, встречающиеся как в основных, так и ультраосновных разновидностях пород, в соответствии с принципом универсальности характеризуются близким механизмом преобразования. Особенностью гипергенного процесса в этих породах на раннем его этапе благодаря длительному сохранению высокощелочной среды является в основном лишь перекристаллизация относительно высокотемпературной политипной модификации серпентина *B* в наиболее низкотемпературную – *A*.

Таким образом, сравнительный анализ рассмотренных выше кор выветривания показывает, что наряду с минералогическими особенностями исходных пород и гидрогеохимическими условиями среды важное значение в формировании элювиальных продуктов имеют три следующих фактора. Первый – это степень структурной упорядоченности первичных минералов. Второй – унаследованность этих свойств вновь возникающими фазами. Третий – универсальность процесса преобразования гипогенных и образования гипергенных минералов в профилях выветривания, развитых на различных типах пород. При этом успешное использование трех сформулированных выше дополнительных положений для объективного выявления закономерностей зонального строения кор выветривания может основываться только на их комплексном оптико-электронно-микроскопическом и структурно-кристаллохимическом изучении. Указанная методология позволяет дифференцировать на структурном уровне одни и те же видовые разновидности пер-

вичных минералов, а также идентифицировать вторичные слоистые силикаты, различающиеся в последнем случае либо характером заселения октаэдрических позиций в их структуре (т.е. ди- или триоктаэдрическим мотивом кристаллической решетки), либо способом взаимного наложения отдельных силикатных слоев в структуре этих минералов, или их политипией.

#### Библиографический список

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харькив А.Д., Соколов В.Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитов // Минерогения зоны гипергенеза. М.: Наука, 1980. С.45–54.
2. Бугельский Ю.Ю. Рудоносные коры выветривания влажных тропиков. М.: Наука, 1979. 286 с.
3. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: Наука, 1997. 574 с.
4. Домбровская Ж.В. Палеогеновая кора выветривания Центрального Прибайкалья. М.: Наука, 1973. 155 с.
5. Зинчук Н.Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. 1992. № 7. С. 99–109.
6. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы / Новосибирский гос. ун-т. Новосибирск: НГУ, 1994. 240 с.
7. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.
8. Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Борис Е.И. Древние коры выветривания и поиски алмазных месторождений. М.: Недра, 1983. 196 с.
9. Зинчук Н.Н., Тараненко В.И., Борис Е.И. и др. Коры выветривания бассейна р. Вилюй // Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1978. № 8. С.108–121.
10. Казанский Ю.П. Выветривание и его роль в осадконакоплении. М.: Наука, 1969. 126 с.
11. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Механизм образования каолинита при выветривании терригенно-карбонатных пород нижнего

- палеозоя Западной Якутии // Докл. АН СССР. 1980. Т. 250, № 6. С. 1441–1444.
12. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н., Соколов В.Н. Кора выветривания на нижнепалеозойских терригенно-карбонатных породах Западной Якутии // Бюл. МОИП. Отдел геолог., 1982. Т. 57, вып.3. С. 81–97.
  13. Куковский Е.Г. Превращение слоистых силикатов. Киев: Наукова думка, 1973. 103 с.
  14. Михайлов Б.М. Рудоносные коры выветривания. Принципы и методы оценки рудоносных геологических формаций. Л.: Недра, 1986. 238 с.
  15. Петров В.П. Основы учения о древних корях выветривания. М.: Недра, 1967. 343 с.
  16. Разумова В.Н. Древние коры выветривания и гидротермальный процесс. М., 1977. 156 с.
  17. Савко А.Д., Додатко А.Д. Коры выветривания в геологической истории Восточно-Европейской платформы / Воронеж. гос. ун-т. Воронеж, 1991. 232 с.
  18. Соколов В.Н., Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. и др. Использование растровой электронной микроскопии при комплексном исследовании кор выветривания Западной Якутии // Геология и геофизика. 1980. № 7. С. 20–30.
  19. Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Докл. АН СССР, 1987. Т. 296, № 5. С.1228–1233.
  20. Шамшина Э.М. Коры выветривания кимберлитовых пород Якутии. Новосибирск: Наука, 1979. 185 с.

## Distinctive Characteristics of Hypergene Alteration of Composition of Different Rocks

N.N. Zinchuk

Western-Yakutian Scientific Center of the Sakha Republic Academy of Sciences, 678170, Yacutia, Mirny, Lenina Str., 4/1

E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

Comparative complex analysis of different types of weathering crust indicates that the following three factors along with mineralogical peculiarities of primary rocks and hydrogeochemical conditions are of great importance for formation of eluvial material. First factor is a degree of structural ordering of primary minerals. A second one is related to an inheritance of properties by new mineral phases. The third factor includes a universalism of processes of transformation of hypogene and formation of hypergene minerals in the weathering crusts developed in different types of rock. Realization of these basic assumptions can be achieved only with their integrated optical-electronic microscopy and structural-crystal-chemical investigations. This methodology allows distinguishing between the varieties of the same primary minerals using their structural specific features, as well as identifying secondary layered silicates formed at different stages of rocks hypergene alteration.

Key words: *weathering crusts, eluvial, hypogene and hypergene formations, optical-electronic-microscopic and structural-crystal-chemical investigations.*

### References

1. Afanasiev V.P., Zinchuk N.N., Kharkiv A.D., and Sokolov V.N. 1980. Zakonomernosti izmeneniya mantiynykh mineralov v kore vyvetrivaniya kimberlitov [Regularities of alteration of the mantle minerals in weathering crust of kimberlites]. In *Minerageniya zony gipergeneza*. Moskva, Nauka, pp. 45-54.
2. Bugelskiy Yu.Yu. 1979. Rudonosnye kory vyvetrivaniya vlazhnykh tropikov [Metallif-

- erous weathering crusts of the humid tropics]. Moskva, Nauka, p. 286.
3. *Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., and Kuznetsova L.G.* 1997. Petrokhimicheskie modeli almaznykh mestorozhdeniy Yakutii [Petrochemical models of diamond deposits of Yakutiya]. Novosibirsk, Nauka, p. 574.
  4. *Dombrovskaya Zh.V.* 1973. Paleogenovaya kora vyvetrivaniya Tsentralnogo Pribaykalya [Paleogene weathering crust of the Central PreBaikal]. Moskva, Nauka, p. 155.
  5. *Zinchuk N.N.* 1992. Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Evropeyskoy platform [Comparative characteristics of composition of weathering crust of kimberlite rocks of Siberian and East-European platforms]. Geologiya i geofizika. 7:99-109.
  6. *Zinchuk N.N.* 1994. Kory vyvetrivaniya i vtorichnye izmeneniya kimberlitov Sibirskoy platformy [Weathering crusts and secondary alteration of kimberlites of Siberian platform]. Novosibirsk, NGU, p. 240.
  7. *Zinchuk N.N.* 2000. Postmagmaticheskie mineraly kimberlitov [Postmagmatic minerals of kimberlites]. Moskva, Nedra, p. 538.
  8. *Zinchuk N.N., Kotelnikov D.D., and Boris E.I.* 1983. Drevnie kory vyvetrivaniya i poiski almaznykh mestorozhdeniy [Ancient weathering crusts and diamond deposits exploration]. Moskva, Nedra, p. 196.
  9. *Zinchuk N.N., Taranenko V.I., Boris E.I. et al.* 1978. Kory vyvetrivaniya basseyna r. Viluy [Weathering crusts of the Viluy River basin]. Izv. AN SSSR, Ser. geolog., 8:108-121.
  10. *Kazanskiy Yu.P.* 1969. Vyvetrivanie i ego rol v osadkonakoplenii [Weathering and its role in the sedimentation]. Moskva, Nauka, p. 126.
  11. *Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N.* 1980. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita pri vyvetrivanii terrigenno-karbonatnykh porod nizhnego paleozoya Zapadnoy Yakutii [Mechanism of kaolinite formation due to weathering of the Lower Paleozoic terrigeno-carbonate rocks of Western Yakutiya]. Dokl. AN SSSR. 250(6):1441-1444.
  12. *Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N., and Sokolov V.N.* 1982. Kora vyvetrivaniya na nizhnepaleozoyskikh terrigenno-karbonatnykh porodakh Zapadnoy Yakutii [Weathering crust on the Lower Paleozoic terrigeno-carbonate rocks of Western Yakutiya]. Bull. MOIP. Otdel geologich., 57(3):81-97.
  13. *Kukovskiy E.G.* 1973. Prevrashchenie sloistyykh silikatov [Transformation of the layered silicates]. Kiev, Naukova dumka, p. 103.
  14. *Mikhailov B.M.* 1986. Rudonosnye kory vyvetrivaniya. Printsipy i metody otsenki rudonosnykh geologicheskikh formatsiy [Metalliferous weathering crusts. Principles and methods of assessment of metalliferous geological formations]. Leningrad, Nedra, p. 238.
  15. *Petrov V.P.* 1977. Osnovy ucheniya o drevnikh korakh vyvetrivaniya [Foundations of a doctrine about ancient weathering crusts]. Moskva, Nedra, p. 343.
  16. *Razumova V.N.* 1977. Drevnie kory vyvetrivaniya i gidrotermalnyy protsess [Ancient weathering crusts and hydrothermal process]. Moskva, p. 156.
  17. *Savko A.D., Dodatko A.D.* 1991. Kory vyvetrivaniya v geologicheskoy istorii Vostochno-Evropeyskoy platformy [Weathering crusts in the geological history of the East-European platform]. Voronezh, VGU, p. 232.
  18. *Sokolov V.N., Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. et al.* 1980. Ispolzovanie rastrovoy elektronnoy mikroskopii pri kompleksnom issledovanii kor vyvetrivaniya Zapadnoy Yakutii [Application of the raster electron microscopy for integrated study of weathering crusts of the Western Yakutiya]. Geologiya i geofizika. 7:20-30.
  19. *Khitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotelnikov D.D.* 1987. Primenenie cluster-analiza dlya vyasneniya zakonornostey vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Application of the cluster analysis for clarification of regularities of the weathering of rocks of different composition]. Dokl. AN SSSR. 296(5):1228-1233.
  20. *Shamshina E.M.* 1979. Kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Yakutii [Weathering crusts of kimberlite rocks of Yakutiya]. Novosibirsk, Nauka, p. 185.